シールドトンネル工事用機械の事故事例及びヒヤリ・ハットに関する報告書

㈳日本建設機械化協会 機械部会 トンネル機械技術委員会 事故災害防止分科会（シールド）

トンネル工事は，土木工事の各工種のなかでも機械化が進んでおり，使用する機械も多く，また過酷な条件化での使用を余儀なくされることから故障が発生しやすく，事故も起きやすい。

㈳日本建設機械化協会機械部会トンネル機会技術委員会は山岳トンネルとシールドトンネルの二つの事故災害防止分科会を立ち上げ，現状機械の事故事例及びヒヤリ・ハットを調査し，本誌2008年7月号において中間報告をしている。

今回は2009年3月に報告書を取りまとめたので，中間報告の続きを報告するものである。

キーワード：トンネル機械，事故事例，ヒヤリ・ハット，機械災害

1. はじめに

シールドトンネル工事は，各工種のなかでも機械化が最も進んでおり，使用する機械も多く，過酷な条件下での使用から故障等も比較的多く事故も起きやすい。

また，今後，トンネル機械の発展を見るように，建設機械はますます多様化が進み，新たな建設機械での事故も懸念され，さらなる事故防止対策が必要となってくる。

このような状況のなかで，㈳日本建設機械化協会は事業課題のひとつとして安全，災害対策を挙げた。これをうけて機械部会トンネル機械技術委員会では事故災害防止を事業活動とし，その中に山岳トンネルとシールドトンネルの二つの分科会を立ちあげ，現状の山岳トンネル機械とシールドトンネル機械の事故事例およびヒヤリ・ハットを調査・研究し，それぞれの機械の事故防止対策としてまとめることとした。

アンケート調査の概要については本誌2008年7月号において中間報告している。

本報告は，報告書が完成したので，一部中間と重複する部分もあるが，活動の成果を報告するものである。

2. アンケート調査の概要

(1) 調査の内容

調査依頼に当たっては，トンネル機械技術委員会構成会社の機械メーカ，レンタル会社，施工会社に対し「トンネル機械の事故事例及びヒヤリ・ハットに関するアンケート調査票」を平成19年10月に発行し，記入を依頼した。このアンケート調査で収集したデータは，トンネル工事の事故防止に役立てるものであり，事故災害防止分科会の基礎資料とするため，できるだけ多くのデータを集めたいと考え，特定の会社名，工事名，工事内容等を公表しないものとした。

具体的には，以下の要領により，アンケート調査を実施した。

①調査対象会社は機械部会トンネル機械技術委員会，建設業部会の構成会社54社とした。

②調査対象はトンネルで使用する全ての機械での事故事例及びヒヤリ・ハットとした。

③事故事例及びヒヤリ・ハットは，できる限り近年の事例とした。ただし，近年の事例がない場合は，過去10年位までとした。

④施工会社でJVの場合は，スポンサー会社とした。ただし，メーカ，レンタル会社は，施工会社と事故事例が同じでも可とし，使用機械の恒久対策等があれば記入するものとした。

⑤できる限り多くのデータを希望し，事故事例とヒヤリ・ハットそれぞれ1件以上を各社に依頼した。

⑥アンケート調査票は可能な限り電子データでの提出とし，図面等どうしても不可の場合は，その部分のFAXでの提出を依頼した。

⑦アンケート調査票は各社の委員で取りまとめて㈳日本建設機械化協会へ提出した。

(2) 回答結果

シールドトンネル工事用機械にかかわる回答数につい

ては，事故事例が 32 件，ヒヤリ・ハットで 17 件であった。

3. アンケート調査におけるシールドトンネル工事用機械での現状分析

(1) 事故の概要

今回アンケートの集計によるシールドトンネル工事での事故被災内容別の分類では，『挟まれ』で半分以上を占めている。

①『挟まれ』は下記状況で発生
- ・狭いシールド機内・後続台車付近・立坑下作業床で発生
- ・逃げ場のない組立解体作業
- ・鋼車・台車・トラバーサに起因

②『衝突』『轢かれ』は下記状況で発生
- ・バッテリ機関車や台車の逸走

③『墜落』『転倒』は下記状況で発生
- ・歩行通路作業床の足場板の不備
- ・作業台作業床以外に乗って作業を行う不安全作業

④『飛来落下』は下記状況で発生
- ・鏡切り時の土塊の落下
- ・機械取付けボルトの破断等

⑤『巻き込まれ』は下記状況で発生
- ・ベルトコンベア，ポンプ，ボーリングマシンなど回転機に起因

被災の詳細については，骨折が 17 件と半数以上を占め，切り傷・擦り傷 4 件，挫傷 3 件と続き，死亡は 2 件であった。

図―1　事故事例における被災内容

図―2　被災の詳細状況

(2) 事故，ヒヤリ・ハット発生機械

事故やヒヤリ・ハットが発生した機械を見ると機関車／鋼車が 12 件と最も多く，シールド機 10 件，後続台車，足場，ベルトコンベヤ，セントルが 3 件と続く。

以下，事故やヒヤリ・ハットの発生が多かったシールド機とバッテリ機関車／鋼車について詳述する。

図―3　事故，ヒヤリ・ハット発生機械

①シールド機

シールド機における事故形態は下記の通りである。
- ・ローリングの影響による挟まれ
- ・エレクターアタッチメント固定ミスによるアタッチメント落下
- ・カッター面付着の土塊の落下
- ・スプレッダ落下
- ・組立て・解体中・メンテナンス中の挟まれ
- ・シールドジャッキとセグメントの間の挟まれ

②バッテリ機関車／鋼車

バッテリ機関車／鋼車に係る事故は下記の通りである。
- ・台車の連結不備・未確認での台車逸走
- ・車止めの不実施による逸走
- ・鋼車を足場代りに使用し転落
- ・材料台車に乗車し，挟まれ
- ・機関車無線運転の操作ミス
- ・機関車の動きを確認せずに挟まれ
- ・ズリ鋼車の吊り上げ作業の荷振れによる挟まれ
- ・機関車運転士が，風管止め番線にひっかかる

(3) 事故，ヒヤリ・ハットの発生原因

アンケート調査票に設けた発生原因に関する質問項目回答は以下のような結果であった。

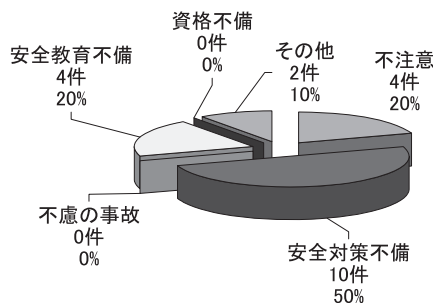
事故事例，ヒヤリ・ハットともに安全対策不備を原因としている事例が多くなっている。

(a) 事故発生原因

事故事例 32 件に対して安全対策不備が 22 件と約半数を占め安全教育不備 16 件，不注意が 13 件と続く。

図―4　事故発生の原因

(b) ヒヤリ・ハットの発生原因

ヒヤリ・ハット17件に対して，ヒヤリ・ハット発生原因としては安全対策不備が10件と50%を占め，安全教育不備と不注意が4件と続く。

図―5　ヒヤリ・ハット発生原因

(4) 事故対策の傾向

これら被災内容別の事故発生要因を①人的要因，②管理的要因，③設備的要因，④機械的要因の各要因に分け，それぞれの事故発生要因に対する対策をまとめることにより事故対策の傾向を示す。

以下災害形態別に，採られている対策を示す。

(a) 挟まれ

①人的要因に対して

・KYK活動強化
・合図の確認・実施
・立ち入り禁止区域の立ち入り禁止遵守
・作業手順の遵守
・道具・器具の作業開始前点検
・セグメント台車に乗らない
・シールドジャッキの動作はゆっくりであるが，近接位置にいる作業員はシールドジャッキがセグメントに接するまで目を離さない

②管理的要因に対して

・立ち入り禁止場所・時間時期の周知徹底
・合図の確認
・作業手順の手直し
・作業指揮者による，作業手順の厳守
・後続台車転倒防止金具の機能確認を安全点検項目に追加
・トラバーサ操作者の限定
・作業員の作業分担変更は元請で管理
・作業標準手直し

③設備的要因に対して

・風管設置方法の改善
・点検通路の整備
・逸走防止装置の機能を果たすよう確実な設置

④機械的要因に対して

・セグメント台車の巾をセグメントより大きくする
・台車間の連結装置を2重
・連結ピンの強度増加

(b) 衝突・轢かれ

①人的要因に対して

・KYK活動強化

②管理的要因に対して

・非定常作業時の機関車運行確認手順の設定

③設備的要因に対して

・逸走防止装置を2重とした
・逸走防止装置の設置場所を変更

④機械的要因に対して

・台車間連結装置を2重とした
・連結ピンの黄色に塗装し，ピンの取り付け状況を分かり易くした

(c) 飛来落下

①人的要因に対して

・作業手順の遵守

②管理的要因に対して

・作業手順の見直し
・締め付けトルクの管理
・地山の点検頻度を増やす
・立入り禁止場所・時間時期の周知徹底

③設備的要因に対して

・作業足場の見直し

④機械的要因に対して

・エレクターアタッチメント固定をボルトナットに変更（建て込みボルトをやめる）ボルトが脱落してもアタッチメント等の脱落がない構造

4. シールドトンネル工事用機械の安全に対する今後の方向性

バッテリ機関車／鋼車やシールド機に関しての安全対策に関する今後の方向性について示す。

(1) バッテリ機関車／鋼車の安全対策について

線形の急勾配化や施工の長距離化が進み，高速搬送や複数編成による搬送など坑内運行の安全確保のため逸走防止のための自動停止や居眠り防止技術が求められる。

アンケート調査を踏まえた安全対策を示すと共に今後の安全対策の方向性を示す。

(a) 機械メーカとしての安全対策

従来，トンネル工事においてはバッテリ機関車とディーゼル機関車があったが，最近ではバッテリ機関車の使用がほとんどである。

バッテリ機関車においてはサーボモータの使用が普及し，これまでの抵抗式制御方式，チョッパー制御方式からほとんどサーボ制御方式に変わっている。このサーボモータの採用によりブレーキ制御，スピード制御，無線操作制御が従来の制御方式に較べて，改造コストが低く容易になったため，安全面に対して大きく貢献している。

(b) 施工者としての安全対策

最近の事故例は，アンケート調査事例にもあるが，バッテリ機関車自体の不具合で起こる労働災害よりも狭隘でお互いの作業員同士が死角で確認できない，あるいは，合図の不徹底で確認できないといった事故が多い。これらの事故をユーザとしての施工者として，管理的要因と安全施設での機械的要因に分けて対策を述べる。

①管理的要因での対策

ⅰ) 作業員の教育訓練。

ⅱ) バッテリ機関車のオペレータの教育訓練。

ⅲ) 狭隘な場所での立入り禁止範囲及び安全通路の方法，機械の移動方法，合図方法を含めた坑内運行規則（作業手順）の作成と教育。

②機械的要因での対策

ⅰ) 安衛法に基づく切羽，坑内照明の確保。特に死角になる部分の照度の確保。

ⅱ) ボイスセンサ，無線によるオペレータと作業員あるいは作業員同士の連絡合図確認。

これらの安全対策は，コスト面では大きな負担が少ないため，施工性と合わせて作業手順の作成及び教育実施をする必要がある。

(c) 自動停止装置について

軌条設備上の走行可能範囲からの逸走を防止する。

進行方向前方にある，設備などの手前の軌条設備（レール部）に永久磁石を設置し，その上を磁気センサの set されたバッテリ機関車が走行すると，磁気センサが感知し，ブレーキが作動してバッテリ機関車が停止する。センサについては RFID の活用も考えられる。

再走する場合は，コントローラーをニュートラルにし，「リセット」ボタンを押すことで，通常走行に戻る。

方式名	磁気センサー
概要図	磁気感知により制御実施 磁気センサー 発磁体(永久磁石)
方式概要	・特定の位置に取付けた発磁体を認知 ・情報量を持たせることが出来ないため簡易な制御のみ可能
感知可能距離	・最大10cm程度
メンテナンス性	・発磁体重量は、2kg前後となるが、取付、盛替えは容易
信頼性	・感知距離が短いため誤動作の可能性は少ない
経済性	・安価

図―6　自動停止装置

停止位置を逸走しての衝突，脱線，挟まれ事故に対する対応策の１つである。

(d) 居眠り防止装置

走行を開始すると２分後から 15 秒間配電盤上の回転灯（黄色）点灯し，15 秒間シグナルホーンが鳴り出す。この 30 秒間にリセット押釦を押せば，回路リセットされ走行可能となるが，そのまま走行していれば，ブレーキが作動し停止する。

これは走行時の運転者の居眠り防止対策として，現在開発されたもので長距離のシールドで利用されている。

(2) シールド機の安全対策について

シールド機においては据付，解体工事などの掘削工事以外に付随する工事での安全性への対策・改善は特筆すべきものだと考える。

また，昨今のシールド工事は，長距離化，難土質への対応，二次覆工省略などの掘進自体の難度が上がってきているとともに，環境への配慮，矮小空間での発進など工事全体の要求難度も上がってきており，シールド機に付随する工事も増加すると考えられる。

このため，今後，シールド機については，掘削工事以外の付随する工事で，例えば解体時の安全対策などシールド機に付随する工事における安全性への配慮が必要である。

(a) 狭い空間での作業の安全性の確保では，例えばセグメント組立時のエレクタ装置付近のセグメント組立足場の安全対策が必要である。

（b）環境への配慮については，解体時のグリスや作動油の回収対策が必要である。また掘削中にグリスが掘削土砂に混合しないようにする対策が必要である。

（c）ソフト面では，取扱説明書に安全に対する書き込みや，別冊の安全マニュアルの提出，機器への安全表示の貼り付け，更にシールド解体要領で安全注意事項の書き込みなど，確実な安全フォローがシールドメーカとして今後は必要である。

以上が，ゼネコンや施工者からも求められていくと考えられ，これらの内容を具体的にメーカへの提案として記述する。

（d）具体的な提案

提案 1：解体時の安全対策

①解体を考慮したシールド機の設計

②重心位置の明示や吊ピース設置

③エレクタ装置の解体時，重心の違いから，油圧モータを解体した場合にエレクタリングが回転してしまうので，このストッパの設置が必要。

④高圧の作動油が残留する配管には，圧抜き配管やバルブを設ける。アキュームレータなど圧力が蓄積されている装置には圧力危険の書き込みを入れる。

提案 2：狭小作業空間の安全対策

①セグメント組立足場を充実する。

②小口径シールドでも避難通路を確保する。

③切羽作業場所の照明は 100 ルクス以上を確保する。

④人がメンテナンスや通路として使う空間には，鋭角形状を極力避ける。

⑤高所作業場所には安全ベルトの親綱や引掛けピースを予め設けておく。

提案 3：環境への配慮

①カッタ駆動装置部分のグリスや潤滑油が抜きやすいように，グリスや潤滑油用の抜き配管をあらかじめ設けておく。

②掘削土砂にグリスや油圧作動油が混合しない配慮が必要である。掘削土砂が産業廃棄物にならない配慮をする。

③油圧作動油やベルトコンベヤのベルト（ゴムベルト）を難燃性の材料を使用する。

④ガス検知器や酸素濃度の監視器をシールド機内と後方台車付近に設けて，警報音やパトライトで危険を知らせる。

提案 4：安全対策のソフト面

①シールド機の各装置に，安全警報の表示を必要な場所に必ず貼り付ける。

②シールド機の取扱説明書に安全注意の項目を必ず記入する。また，別冊で安全マニュアルを機械の納入時に提出する。

③シールド機の解体要領と安全注意の図書を提出する。

5. おわりに

アンケート調査の結果，シールドトンネル工事における事故やヒヤリ・ハットについては，シールド機とバッテリ機関車／鋼車に係る事例が半数を占めていた。

シールド工事は，事業のコストダウン，用地確保難や施工効率化のために，長距離化や急勾配，急曲線，二次覆工省略による小断面化など，施工機械設備に対してより厳しい条件が求められてきている。

そのため，実際に発生した事故やヒヤリ・ハットについては本来遵守すべき手順が守られていない人為的原因のものも多く，対策は教育や打ち合わせ，手順確認の強化としている例が多い。

バッテリ機関車／鋼車については，急勾配や急曲線に起因する逸走等による衝突事例が多く報告されている。

バッテリ機関車はサーボ制御のものがほとんどであり制動性能は決して低いものではないが逸走に対しては万全ではない。このため切り離し連結作業を勾配区間で行うなど初歩的なミスによる事故が発生している。

機械的な対策として，磁気センサを用いた自動停止システムなどが挙げられている。

衝突については事故事例では報告されていないが，長距離化を反映しバッテリ機関車オペレータが走行中居眠りする可能性もあり，その対策案も提案されている。

またシールド機については，工事ごとに製作される場合が多く，都度施工条件に対して最少コストを追求するため，制約空間に機器類を高密度配置するため解体など掘進以外の作業に対する安全や環境配慮が採られ難い側面もある。

今後より施工条件の難易度が上がっていく中で，作業員の高齢化，施工ノウハウの伝承難が想定される。

シールド工事での災害を防ぐためには，発注者，機械メーカ，施工者の三者が，災害に関する情報を共有し，機械設備の設計や選定，運用時に危険要素を把握，対策を行っていく必要がある。

最後に，「シールドトンネル工事用機械の事故事例及びヒヤリ・ハットに関する調査」にご協力を頂いた方々に感謝するとともに，本報告書をシールドトンネル工事用機械の安全性向上に役立てていただければ幸甚である。

JCMA